

Научная статья

УДК 620.172.2

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ОБРАЗЦЕ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Михаил Викторович Ерпалов

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

m.v.erpalov@urfu.ru

Аннотация. В работе представлена методика определения напряжений, действующих в минимальном сечении шейки на стадии сосредоточенной деформации образца при растяжении. Предложенная методика основана на записи процесса испытания с помощью цифровой камеры и последующем измерении радиуса кривизны шейки с применением методов математической обработки отдельных изображений, соответствующих разным стадиям формирования шейки.

Ключевые слова: испытание на растяжение, образец, шейка, радиус кривизны, истинное напряжение, эквивалентное напряжение

Original article

THE METHOD FOR DETERMINING THE ACTUAL STRESSES ACTING IN A CYLINDRICAL SPECIMEN UNDER TENSION

Mikhail Viktorovich Erpalov

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

m.v.erpalov@urfu.ru

Abstract. The paper presents a method for determining the stresses acting in the minimum section of the neck at the stage of concentrated deformation of the specimen under tension. The proposed method is based on recording the test process using a digital camera and subsequent measuring the radius of curvature of the neck using methods of mathematical processing of separated images corresponding to different stages of the neck formation.

Keywords: tensile test, specimen, neck, radius of curvature, true stress, equivalent stress

При растяжении цилиндрических образцов из пластичных материалов в определенный момент испытания формируется шейка. При этом однородное напряженное состояние сменяется объемным, что существенно затрудняет определение фактических напряжений, действующих в образце. Общего решения задачи о распределении напряжений в шейке не существует. Однако известны различные методики, предназначенные для корректировки истинных напряжений, являющихся средне-интегральной величиной растягивающих напряжений, до эквивалентных значений [1–3], которые являются инвариантной характеристикой материала и позволяют анализировать различные технологические процессы ОМД.

Определение эквивалентных напряжений, действующих в минимальном сечении образца, основано на измерении диаметра образца и радиуса кривизны шейки. Известны различные способы измерения радиуса кривизны, включая применение проектора, инструментального микроскопа и цифровых фотокамер. Использование цифровых камер является более эффективным, т. к. позволяет измерять профиль шейки без необходимости остановки испытания и извлечения образца.

В данной работе представлен собственный способ измерения радиуса кривизны шейки, отличающийся тем, что профиль шейки, соответствующий конкретной стадии испытания, аппроксимируется аналитическим выражением специального вида [4]. Это позволяет исключить человеческий фактор при определении радиуса кривизны и автоматизировать процесс обработки экспериментальной информации.

Для обработки экспериментальных данных разработана программа на языке *Wolfram Language*, обеспечивающая обработку видеозаписи процесса испытания и формирование массива отдельных изображений образца с шейкой, считывание данных, полученных с испытательной машины, и привязку отдельных кадров к диаграмме нагружения, измерение профиля шейки, расчет истинной деформации и напряжений, расчет эквивалентных напряжений и деформации по Мизесу с учетом моделей Бриджмена [1], Давиденкова-Спиридоновой [2] и Остсемина [3].

Методика измерения радиуса кривизны шейки, а также программа обработки экспериментальных данных опробованы в ходе испытаний

стальных образцов (09 Г2 С), а также образцов из алюминия и титанового сплава Ti–6Al–4V ELI. Результаты реверс-моделирования процесса испытания с использованием полученных кривых упрочнения показали сходимость компьютерных моделей и реальных испытаний с точки зрения силы растяжения и формоизменения шейки.

Список источников

1. Bridgman P. W. Studies in Large Plastic Flow and Fracture, with Special Emphasis on the Effect of Hydrostatic Pressure. New York : McGraw-Hill. 1952. 362 p.
2. Davidenkov N. N., Spiridonova N. I. The analysis of the state of stress in the neck of tension specimen // Proc. ASTM. 1946. V. 46. P. 1147–1159.
3. Остсемин А. А. К анализу напряженного состояния в эллиптической шейке образа при растяжении // Проблемы прочности. 2009. № 4. С. 19–28.
4. Erpalov M., Nukhov D. The Influence of Hardening Curve on the Shape and Size of the Neck of Specimen in Tensile Test // Mater. Sci. Forum. 2020. V. 989. P. 372–377.

References

1. Bridgman P. W. Studies in Large Plastic Flow and Fracture, with Special Emphasis on the Effect of Hydrostatic Pressure. New York : McGraw-Hill. 1952. 362 p.
2. Davidenkov N. N., Spiridonova N. I. The analysis of the state of stress in the neck of tension specimen // Proc. ASTM. 1946. V. 46. P. 1147–1159.
3. Ostsemin A. A. To the analysis of the stress state in the elliptical neck of the image under tension // Problems of Strength. 2009. № 4. P. 19–28.
4. Erpalov M., Nukhov D. The Influence of Hardening Curve on the Shape and Size of the Neck of Specimen in Tensile Test // Mater. Sci. Forum. 2020. V. 989. P. 372–377.